

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Februar 2004 (26.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/017361 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/009052

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HAUSNER, Martin
[DE/DE]; Soodderstr. 63, 65193 Wiesbaden (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

14. August 2003 (14.08.2003)

(74) Anwälte: SIEGFRIED, J. usw.; Beetz & Partner, Steins-
dorfstrasse 10, 80538 München (DE).

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,
RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

102 37 249.7 14. August 2002 (14.08.2002) DE

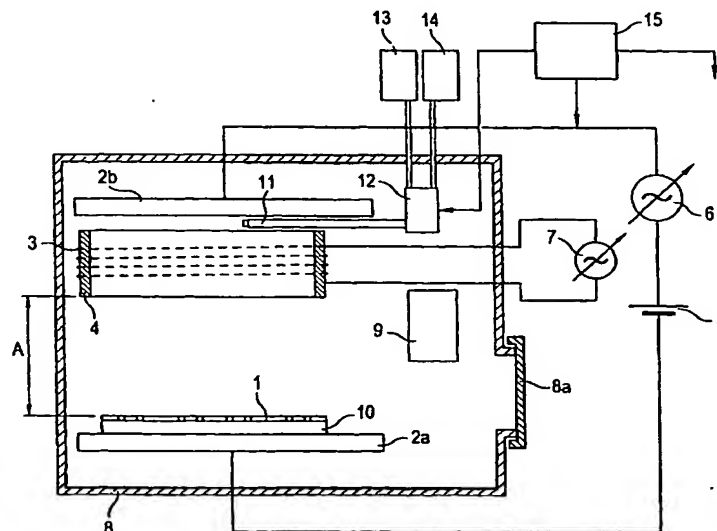
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): PERKINELMER OPTOELECTRONICS
GMBH & CO. KG [DE/DE]; Wenzel-Jackson-Str. 31,
65199 Wiesbaden (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR SELECTIVELY REMOVING MATERIAL FROM THE SURFACE OF A SUBSTRATE, MASKING
MATERIAL FOR A WAFER AND WAFER PROVIDED WITH A MASKING MATERIAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM SELEKTIVEN ABTRAGEN VON MATERIAL AUS DER OBERFLÄCHE EINES SUB-
STRATS, MASKIERUNGSMATERIAL FÜR EINEN WAFER UND WAFER MIT EINEM MASKIERUNGSMATERIAL



(57) Abstract: The invention relates to a method for selectively removing material from the surface of a substrate in order to form a recess, comprising the following steps: applying a mask to the surface of the substrate in accordance with the desired selective removal, and; dry etching the substrate, whereby metal, preferably aluminum, is used as a masking material. Energy can be inductively injected into a plasma.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Substrats zur Bildung einer Vertiefung hat die Schritte Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats nach Massgabe des gewünschten selektiven Abtrags, und Trockenätzen des Substrats, wobei ein Metall, vorzugsweise Aluminium als Maskenmaterial verwendet wird. Es kann induktiv Energie in ein Plasma eingekoppelt werden.

Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der
Oberfläche eines Substrats, Maskierungsmaterial für
einen Wafer und Wafer mit einem Maskierungsmaterial

Die Erfindung betrifft ein Abtragverfahren sowie ein Maskierungsmaterial für ein Substrat, etwa einen Wafer und ein Substrat bzw. einen Wafer mit einem solchen Maskierungsmaterial nach den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche.

Selektiver Materialabtrag aus einer Substratoberfläche kann dadurch erfolgen, daß diejenigen Oberflächenbereiche, aus denen nichts abgetragen werden soll, maskiert werden und die verbleibenden, freien Bereiche einem Ätzmittel ausgesetzt werden. Ausgehend von den nicht maskierten Bereichen kann dann in die Tiefe des Substrats Material abgetragen werden. Dabei können jedoch verschiedene Probleme auftreten:

- Das Ätzmittel ätzt nicht nur die freien Oberflächenbereiche, sondern auch das Maskierungsmaterial. Je nach Einwirkungsdauer

kann es zur Verdünnung oder zum vollständigen Abtrag der Maskierung und darauf folgend zum Abtrag aus der eigentlich zu schützenden Substratoberfläche kommen.

- Es kann zu Unterätzungen kommen. D.h., daß von den Seitenwänden des schon hergestellten Gesenks seitlich unter die Maske geätzt wird, so daß die Ränder unter der Maskierungsschicht ausgefranst und nicht definiert erscheinen. Außerdem sind die Wände des entstehenden Gesenks nicht glatt.
- Ungleichförmige Ätzraten innerhalb eines einzigen Gesenks und/oder über mehrere Gesenke auf einem Substrat hinweg führen zu undefinierten Tiefen.
- Unerwünschte Redepositionen weggeätzten Materials. Es kann sich weggeätztes Substrat- und/oder Maskierungsmaterial in unerwünschter Weise bzw. an ungünstigen Stellen auf dem Substrat und/oder der Ätzvorrichtung ablagern und zu unbrauchbaren Ergebnissen oder zu nicht mehr arbeitenden Ätzvorrichtungen führen.
- Bei der Herstellung tiefer Gesenke (Tiefe $T > 200 \mu\text{m}$) kann die Ätzgeschwindigkeit zu niedrig sein, um wirtschaftlich brauchbare Ergebnisse zu liefern.

Ätzprozesse können isotrop (d.h. in alle Richtungen gleichwirkend) oder anisotrop (in bestimmte Raumrichtungen besser als in andere Raumrichtungen wirkend) sein. Naßätzen ist ein in der Regel isotroper Ätzvorgang, der jedoch vergleichsweise langsam ist und zum Ätzen tiefer Gesenke beispielsweise in einem Siliciumwafer nicht geeignet ist. Trockenätzen hat eine höhere Ätzrate (Abtrag pro Zeit). Hierbei wird eine Ätzplasma (beispielsweise SF_6) erzeugt und zur Einwirkung auf die zu ätzenden Stellen gebracht. Unter "Plasma"

sind hierbei auch hochionisierte (nicht vollständig ionisierte) Aggregatzustände zu verstehen. Es wird auch als RIE (Reaktives Ionenätzen, "Reactive Ion Etching") bezeichnet. Soweit tiefe Gesenke herzustellen sind, wird dies als DRIE ("Deep Reactive Ion Etching") bezeichnet, soweit Trockenätzen verwendet wird. Hier stellen sich die besonderen Anforderungen an die Homogenität des Ätzvorganges und die Widerstandsfähigkeit des Maskierungsmaterials. Eine weitere Erhöhung der Ätzgeschwindigkeit kann mit dem ICP-Ätzen erreicht werden. Hier wird hochionisierte Plasma durch induktive Energieeinkopplung erzeugt (ICP = Inductively Coupled Plasma). Die Ätzraten sind hierbei so hoch, daß mit üblichen Maskierungsschichten aus Polymeren oder Oxiden nur geringe Gesenktiefen erreicht werden können, bevor neben dem Substrat auch die Maskierungsschicht weggeätzt ist.

Andererseits ist es bekannt, Maskierungsschichten mit oder ganz (>98 Gew-%) aus metallischen Materialien, insbesondere Aluminium, zu verwenden. Sie haben die Eigenschaft, daß sie auch bei dünnen Maskierungsschichten auch beim ICP-Ätzen so widerstandsfähig sind, daß tiefe Gesenke hergestellt werden können, ohne daß die Maskierungsschicht vorher abgetragen wäre. Gleichwohl aber wird auch Material aus der Maskierungsschicht weggeätzt. Es lagert sich unter anderem in der Ätzvorrichtung wieder ab und dort auch an bzw. in den die induktive Einkopplung tragenden Röhren. Diese werden dadurch metallisch leitend, so daß sich die induktive Einkopplung und damit die Ätzrate anfänglich verschlechtert und schließlich zusammenbricht. Eine teure und aufwendige Reinigung des Gerätes ist die Folge.

Das Unterätzen der Maskierungsschicht wird durch ein Verfahren vermieden, wie es aus US 5 501 893 bekannt ist. Kurz gesagt werden hierbei abwechselnd (mit Periodizität weniger Sekunden) Ätzgas und ein Passivierungsgas der zu ätzenden Oberfläche zugeführt. Bei geeignetem Layout lagert sich das Passivierungsmittel im Passivierungsgas an den Seitenwänden des Gesenks ab, so daß das Ätzgas nur am Boden des Gesenks ätzt, so daß das Unterätzen vermieden und in etwa senkrechte Wände erzeugt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Ätzverfahren anzugeben, das die Bildung tiefer Gesenke mit hoher Ätzrate erlaubt.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Abhängige Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Die Erfindung betrifft insbesondere Tiefenstrukturierung in Silicium oder Germanium oder allgemein in einem Halbleiter oder einem als Halbleitersubstrat geeignetem Material. Es wird hierbei ein Trockenätzverfahren verwendet. Die Maskierung des Abtrags erfolgt ganz oder teilweise auch mit einem metallischen Material, vorzugsweise Aluminium oder bestimmte Legierungen. Schließlich werden Maßnahmen ergriffen, um die Redeposition des auch weggeätzten Maskenmaterials (Metalls), insbesondere am Ätzgerät, zu verhindern. Vorzugsweise wird beim Ätzen induktive Energie in das Ätzmedium eingekoppelt (ICP). Hier kann die Verhinderung der Redeposition an sensitiven Gerätekomponenten dadurch erreicht werden, daß das Substrat ausreichend weit von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird. Der Abstand kann mindestens 8, vorzugsweise min-

destens 10, weiter vorzugsweise mindestens 13 cm sein. Der Abstand kann auch mindestens die doppelte, vorzugsweise mindestens die dreifache mittlere, freie Weglänge der Plasmaatome sein. Die Tiefe des herzustellenden Gesenks beträgt vorzugsweise mindestens 80 μm , weiter vorzugsweise mindestens 150 μm , weiter vorzugsweise mindestens 300 μm . Es kann auch vollständig durch einen Wafer hindurchgeätzt werden (bzw. bis zu einer Ätzstoppschicht auf der anderen Seite des Wafers).

Nachfolgend werden bezugnehmend auf die Zeichnungen einzelne Ausführungsformen der Erfindung beschrieben, es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht der Verhältnisse beim Ätzprozeß,

Fig. 2 einen teilweise geätzten Wafer im Schnitt,

Fig. 3 einen maskierten Wafer (Ausschnitt) in Draufsicht, und

Fig. 4 eine Darstellung von Verhältnissen beim Durchätzen durch einen Wafer.

Fig. 1 zeigt Verhältnisse während des Ätzvorganges. Mit 8 ist ein Vakuumbehälter bezeichnet, der während des Ätzvorganges evakuiert wird. Der Druck während des Äzens beträgt vorzugsweise unter 5 Pa, weiter vorzugsweise unter 3 Pa. Eine Öffnung 8a ist vorgesehen, um einen Wafer 10 mit Maskierung 1 darauf einführen bzw. wieder entnehmen zu können. Der Wafer 10 mit Maskierung 1 kommt auf einem Tisch zu liegen, der hier schematisch als Platte 2a eines Kon-

densators dargestellt ist, dessen gegenüberliegende Platte 2b oben in der Kammer 8 angebracht ist. An den Kondensator wird während des Ätzens eine Gleichspannung 5 von vorzugsweise 20 - 100 V sowie eine Wechselspannung 6 (Frequenz beispielsweise 13,56 MHz) angelegt. 11 bezeichnet einen Gaseinlaß, der zwischen die Platten 2a, 2b des Kondensators einerseits Ätzgas und andererseits gegebenenfalls auch Passivierungsgas einleitet. Hierzu ist eine Flußsteuerung 12 vorgesehen, die aus entsprechenden Vorratssbehältern 13 und 14 jeweils abwechselnd das eine bzw. das andere Gas dem Auslaß 11 zuführt.

Die induktive Energieeinkopplung erfolgt mittels einer Spule 3 mit wenigen Windungen (Windungszahl $n < 6$ vorzugsweise < 4). Diese Spule ist auf einem beispielsweise röhrenförmigen Träger 4, der aus einem dielektrischen Material wie beispielsweise Aluminiumoxid, Aluminiumnitrid, Quarz, Hartglas, Quarzglas oder Mischungen mit einem oder mehreren dieser Materialien bestehen kann, aufgebracht und wird mit einer Wechselspannung einer Frequenz von beispielsweise ebenfalls 13.56 MHz oder allgemein im Bereich von 4 MHz bis 41 MHz und einer Leistung von 2-5 KW versorgt. Die Ätzrate ist vorzugsweise größer $1 \mu\text{m}/\text{min}$, vorzugsweise größer $2 \mu\text{m}/\text{min}$.

Der Träger 4 kann sich unmittelbar an bzw. unter der Platte 2b des Kondensators befinden. Es können mehrere Dauermagnete vorgesehen sein, die so in Reihe angeordnet sein können, daß sich Nord- und Südpole abwechseln. Es können mehrere (nicht gezeigte) Dauermagnete vorzugsweise regelmäßig verteilt am Umfang und weiter vorzugsweise außerhalb des Trägers 4 angebracht sein. Pole des durch die Dauermagnete erzeugten Magnetfeldes können in axialer

Richtung des Trägers 4 beabstandet sein. Die Dauermagnete können länglich sein und sich in Axialrichtung des Trägers 4 bzw. in Richtung des Gasflusses erstrecken. Die Magnete können hierbei über den Umfang verteilt abwechselnd gegenparallel angeordnet sein (N-S, dann S-N, dann wieder N-S, ...). Die Dauermagnete haben die Aufgabe, die Induktionswirkung für die Ionen und Elektronen gleichförmiger zu machen und den Absolutwert der Elektronentemperatur am Wafer zu verringern.

Mit 9 sind weitere Komponenten innerhalb des Vakuumbehälters 8 angedeutet, beispielsweise Handling-Automaten u.ä.. Eine Steuerung bzw. Regelung 15 steuert bzw. regelt die einzelnen Komponenten. Nicht gezeigt ist eine Pumpe zum Evakuieren des Behälters während des Betriebes.

Die Maskierung 1 des Wafers 10 weist ein metallisches Material oder eine Legierung auf, vorzugsweise mit Aluminium, oder besteht vollständig (> 98 Gew-%) daraus. Der Abstand A zwischen zu ätzender Oberfläche und Unterkante des Spulenträgers 4 oder der Spule 3 selbst beträgt mindestens 8 cm, vorzugsweise mindestens 10 cm, weiter vorzugsweise mindestens 12 cm oder mindestens die zweifache mittlere freie Weglänge der Ätztome, vorzugsweise mindestens die dreifache mittlere freie Weglänge. Dadurch ist sichergestellt, daß die Redeposition des auch weggeätzten Aluminiums an der Innenwand des Spulenträgers 4 verhindert wird. Dadurch wird dieser nicht leitend und blockt somit auch nicht das eingekoppelte Magnetfeld.

Die Maskierung kann alternativ zu oder zusammen mit Aluminium auch Cr oder Ni oder Pt oder Au oder Fe als Hauptbestandteil (> 90

Gew.-%, vorzugsweise > 96 Gew.-%) aufweisen. Es können auch Aluminium- oder Nickellegierungen verwendet werden, z. B. AlCu, AlSi, AlTi, NiFe, NiCr, oder auch die Chromlegierung CrAu. Insbesondere folgende Legierungen sind als Maskierungsmaterial denkbar:

AlNiFe, z. B. 11-13 Al, 21-23 Ni, Rest Fe, "AlNi 090",

AlNiFe, z. B. 13-15 Al, 27-29 Ni, Rest Fe, "AlNi 120",

AlNiCo, z. B. 9-11 Al, 19-21 Ni, 14-16 Co, >1 CuTi, Rest vorzugsw. Fe, "AlNiCo 160",

AlNiCo, z. B. 11-13 Al, 18-20 Ni, 14-16 Co, 3-5 Cu, Rest vorzugsw. Fe, "AlNiCo 190",

AlCu, z. B. 0,5-2 Cu, Rest Al,

AlSi, z. B. 0,5-2 Si, Rest Al,

AlTi, z. B. max. 3, vorzugsw. max. 1,5 Ti, Rest Al,

NiFe, z. B. 35-37 Ni, Rest Fe, "Hyperm 36 M",

NiFe, z. B. 49-51 Ni, Rest Fe, "Hyperm 52",

NiCr, z. B. 78-82 Ni, Rest Cr,

CrAu, z. B. 45-55 Cr, Rest Au.

Die obigen dimensionslosen Zahlen sind Gewicht- oder Volumen-Prozentangaben. Besonders bevorzugt sind die jeweiligen Mittelwerte der angegebenen Bereiche.

Figur 2 zeigt den Wafer 10 schematisch vergrößert im Schnitt. Auf dem Wafer 10 ist die Maskierung 1 angebracht. Die Maskierung 1 weist Metall oder eine Legierung oder ein Kompositmaterial mit Metall auf oder besteht vollständig daraus. Bevorzugtes Material ist Aluminium bzw. eine Aluminiumlegierung. Die Legierung kann mindestens 90 Gew.-% Metall bzw. Aluminium aufweisen. Mit 25 sind schon ausgebildete Gesenke bezeichnet, die bis zu einer gewissen Tiefe in den Wafer hineingeätzt sind. Die momentane Tiefe ist dabei

mit T bezeichnet. Die Dicke D des Wafers kann einige hundert μm betragen und beispielsweise zwischen 150 μm und 600 μm liegen. Die Höhe H der Maskenschicht 1 beträgt weniger als 1 μm , vorzugsweise weniger als 500 nm. Die Wände können in etwa senkrecht hergestellt werden. Der Winkel α einer Wand bzw. aller Wände zum Boden kann im Bereich zwischen 85° und 95° liegen. Wenn gewünscht, kann er aber auch kleiner als 90° sein. Dann weitet sich das Gesenk nach unten hin auf, und es verbleiben zwischen Gesenken nach unten dünner werdende Trennwände, was vorteilhaft sein kann, wenn beispielsweise durchzuätzen ist und von den Stegen zwischen den Gesenken 25 Membranen zur thermisch isolierten Halterung von Sensoren (insbesondere Infrarotdetektoren) zu halten sind.

Beim ICP-Ätzen in die Tiefe des Wafers hinein kann abwechselnd Ätz- und Passivierungsgas zugeführt werden. Dies kann durch die Flußsteuerung 12 gegebenenfalls durch Maßgabe der übergeordneten Steuerung 15 erfolgen. Die Gase werden aus den Reservoirs 13 für Ätzgas und 14 für Passivierungsgas zugeführt. Die einzelnen Phasen können jeweils einige Sekunden dauern (insbesondere jeweils unter 10 s, vorzugsweise unter 6 s) und lösen einander unmittelbar ab. Die Evakuierung kann kontinuierlich erfolgen.

Fig. 3 zeigt schematisch die Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Wafers. Gezeigt ist ein sich wiederholendes Muster von Vertiefungen, wobei die einzelnen Exemplare des Musters längs Zeilen 35 und Spalten 34 angeordnet sind. Die gestrichelten Linien dienen lediglich der Visualisierung und sind tatsächlich nicht vorhanden. Pro einzel- nem Muster sind unterschiedliche Vertiefungen 31, 32 und 33 vor-

gesehen. Diese entsprechen Auslassungen in der Maske 36, die die übrige Waferfläche vorzugsweise vollständig und vorzugsweise auch über die (vertikale) Umfangsseite des Wafers 10 bedeckt. Auf diese Weise können auf einem Wafer in einem Herstellungsschritt gleichzeitig viele gleichartige Vertiefungsmuster hergestellt werden, die nach dem Ausbilden der Vertiefungen voneinander getrennt werden. Die zu ätzende Fläche kann mindestens 8 %, vorzugsweise mindestens 20 % der Substratoberfläche betragen, weiter vorzugsweise mehr als 35 %. Das Substrat selbst kann ein scheibenförmiger Wafer sein, der beispielsweise im wesentlichen kreisförmig ist und einen Durchmesser von mindestens 10 cm, vorzugsweise mindestens 15 cm hat. Der Wafer selbst kann Silicium aufweisen oder ganz daraus bestehen. Vorzugsweise ist er kristallines Silicium.

Fig. 4 zeigt Verhältnisse beim Durchätzen eines Substrats bzw. Wafers 10. Gezeigt ist der Zustand, in dem der Wafer schon fast vollständig von oben bis unten durchgeätzt wurde. Auf der anderen Substratoberfläche (in Fig. 4 unten) wurde in dieser Ausführungsform schon vor dem Ätzvorgang im Bereich des Durchtritts des Loches eine Ätzstoppschicht 48 vorgesehen, auf der eine dünne Membran 49 aufgebracht ist, auf der später (oder auch gleich) eine thermisch isoliert zu haltende elektronische Komponente 47 ausgebildet werden kann. Das wie oben beschriebene Ätzen hat zu dem Ergebnis geführt, daß eher in der Mitte des Gesenks 25 schon bis zur Ätzstoppschicht 48 durchgeätzt wurde, die eine vergleichsweise glatte Oberfläche 43 aufweist, während eher in den Winkeln noch Bereiche 42 des Substratmaterials stehen geblieben sind, die eine vergleichsweise rauhe Oberfläche aufweisen. Gelegentlich kann durch Rede-

position von Maskenpartikeln 1' die Bildung von Nadeln 44 auftreten.

Die Erkennung eines Zustands wie in Figur 4 gezeigt kann durch einen Tiefensensor 45, 46 erfolgen. Es kann sich beispielsweise um eine Lichtquelle, insbesondere eine Laserlichtquelle 45 handeln, die vorzugsweise in die Mitte (Entfernung E vom Rand $> 20\%$, vorzugsweise $> 40\%$ der Querabmessung Q (Durchmesser oder Kantenlänge) des Gesenks 25 strahlt. Ein Sensor 46 wertet das reflektierte Licht aus. Die optischen Pfade sind schematisch gestrichelt angedeutet. Solange Laserlicht von der vergleichsweise rauhen Oberfläche des noch wegzuzätzenden Substrats (wie schematisch bei 42 gezeigt) reflektiert wird, ist die Reflektion vergleichsweise ungerichtet und somit das am Sensor 46 empfangene, reflektierte Licht schwach. Wenn dagegen in der Regel beginnend in der Mitte des Gesenks 25 die Ätzstoppschicht 48 freigelegt wird, wird von der dann glatteren Oberfläche 43 zunehmend gerichtet reflektiert, so daß die beim Sensor 46 empfangene Intensität steigt.

Somit kann beispielsweise die Intensität des empfangenen, reflektierten Lichts auf einen Schwellenwert abgefragt werden. Es ist auch möglich, die erste Ableitung (die Veränderung des empfangenen Signals) auf einen Schwellenwert abzufragen. Die erste Ableitung kann zeitdiskret gebildet werden. Allgemein kann die Tiefenmessung durch Auswertung reflektierten Lichts erfolgen.

Wenn die Ätzstoppschicht 48 schon teilweise freigelegt ist, kann auf einen anderen Ätzvorgang umgeschaltet werden, vorzugsweise wird ein isotroper Ätzvorgang verwendet, um zum Einen die Ätzstopp-

schicht 48 zu schonen und zum Anderen in den Eckbereichen 42 sowie Nadeln 44 wegätzen zu können. Dies kann nach wie vor mittels ICP erfolgen. Es kann jedoch der Gasdruck erhöht und/oder die angelegte Vorspannung verringert werden. Durch Erhöhung des Drucks sinkt die freie Weglänge, und die Bewegungsrichtung der Ionen ist weniger streng an den Feldlinien des angelegten Gleichspannungsfelds ausgerichtet, so daß der Ätzvorgang isotroper wird. Auch durch Verringerung der angelegten Gleichspannung ergibt sich ein ähnlicher Prozeß bzw. ein isotroperer Ätzvorgang.

Nach diesem zweiten Ätzvorgang kann zuletzt noch auf einen dritten Ätzvorgang umgeschaltet werden, bei dem vorzugsweise die angelegte Vorspannung Null ist. Ansonsten kann abermals trocken und/oder mit induktiv energiegekoppeltem Plasma geätzt werden. Dieser dritte Ätzvorgang ist vorzugsweise isotrop.

Nach Beendigung des Ätzvorgangs wird die Maske 1 entfernt. Dies kann durch nasses Ätzen erfolgen. Davor kann eine Entfernung von auf der Maske abgelagerten Passivierungsmittelresten (Polymerresten) erfolgen. Dies kann beispielsweise mittels Sauerstoffplasma erfolgen. Die Entfernung der Maske selbst kann mit TMAH (Tetramethylammoniumhydroxid, vorzugsweise in wässriger Lösung - TMAHW) erfolgen.

Das Material, aus dem heraus Material abzutragen ist, ist vorzugsweise ein kreisförmig-kristalliner Wafer mit mindestens 10, vorzugsweise mindestens 15 cm Durchmesser.

Das Maskenmaterial weist vorzugsweise Aluminium als seine Hauptkomponente auf (Anteil > 90 Gew.-%, vorzugsweise > 95 Gew. %). Daneben können weitere Elemente einlegiert sein, beispielsweise Kupfer (Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-%, vorzugsweise unter 1 Gew.-%) und/oder Silicium (Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-%) und/oder Titan (Anteil unter 3 Gew.-%, vorzugsweise unter 1,5 Gew.-%). Dieses Maskierungsmaterial wird als selbständiger Teil der Erfindung angesehen. Auch werden Wafer, die mit einem solchen Maskierungsmaterial ganz oder teilweise bedeckt sind, als selbständiger Teil der Erfindung angesehen.

Die Erfindung kann allgemein bei der Tiefenstrukturierung von Substraten in der Mikromechanik eingesetzt werden, etwa zur Herstellung von Beschleunigungssensoren mit verschieblicher Masse oder von IR-Sensoren, die thermisch isoliert zu halten sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Silizium aufweisenden Substrats zur Bildung einer Vertiefung, mit den Schritten
 - Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats nach Maßgabe des gewünschten selektiven Abtrags,
 - Trockenätzen des Substrats, und
 - induktives Einkoppeln von Energie in das Ätzmedium beim Trockenätzen,

dadurch gekennzeichnet, daß

ein Metall, vorzugsweise Aluminium zur Bildung der Maske verwendet wird, und

das Substrat um mindestens die doppelte, vorzugsweise mindestens die dreifache mittlere freie Weglänge der Plasmaatome oder um mindestens 8 cm von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat um mindestens 10 cm von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird.
3. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck während des

Ätzens unter 15 Pa, vorzugsweise unter 10 Pa, und/oder über 1 Pa, vorzugsweise über 2 Pa liegt.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß abwechselnd Ätzschritte und Passivierungsschritte für die Seitenwände der Vertiefung stattfinden.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bis zu einer Tiefe von mindestens 80 μm , vorzugsweise mindestens 300 μm abgetragen wird.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Materialabtrag bis zur anderen Seite des Substrats erfolgt.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Maske einer Dicke von unter 1,5 μm , vorzugsweise unter 0,6 μm gebildet wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat bis zum Rand maskiert wird.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Aufbringen der Maske das Metall, vorzugsweise Aluminium, aufgedampft oder aufgesputtert wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Aufbringen der Maske eine metallische Schicht nach Maßgabe des gewünschten selektiven Abtrags geätzt wird.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das verwendete Metall mindestens 90 Gew-% Al aufweist.
12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzposition (T) in Tiefenrichtung wiederholt bestimmt wird, wobei bei Erreichung einer bestimmten Position das Ätzen beendet oder auf einen zweiten Ätzprozeß umgeschaltet wird, der qualitativ anders oder mit anderen Betriebsparametern als der vorherige Ätzprozeß abläuft.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Tiefenbestimmung mittels Laserlicht erfolgt, dessen Eigenschaften nach der Reflektion vom Boden ausgewertet wird, insbesondere bezugnehmend auf die erste Ableitung eines erfaßten Signals.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß im zweiten Ätzprozeß trocken mit induktiv energiegekoppeltem Plasma geätzt wird, wobei der Gasdruck höher und/oder die angelegte Vorspannung niedriger ist.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem zweiten Ätzprozeß auf einen dritten Ätzprozeß umgeschaltet wird, der qualitativ anders oder mit anderen Betriebsparametern als der vorherige Ätzprozeß abläuft.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß im dritten Ätzprozeß trocken isotrop und vorzugsweise mit induktiv energiegekoppeltem Plasma geätzt wird, wobei die angelegte Vorspannung 0 sein kann.
17. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Entfernen der Maske vorzugsweise durch nasses Ätzen ein Veraschungsschritt für Polymerreste auf der Maske vorgesehen ist.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Veraschung mittels Sauerstoffplasma erfolgt.
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß nach der Veraschung eine Behandlung mit Tetramethylammoniumhydroxid erfolgt.
20. Verfahren nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der folgenden Merkmale:
 - Der Materialabtrag erfolgt aus mehr als 8 %, vorzugsweise mehr als 20 % der Substratoberfläche.

- Das Substrat ist ein scheibenförmiger Wafer mit mindestens 10 cm, vorzugsweise mindestens 15 cm Durchmesser.
21. Verwendung von Aluminium oder einer Aluminiumlegierung mit mindestens 90 Gew-% Al oder eines Kompositmaterials mit mindestens 90 Gew-% Al als Maskierungsmaterial für Substrate, die mit induktiv energiegekoppeltem Plasma trocken tiefzuätzen sind.
22. Maskenmaterial zum Maskieren von zu ätzenden Wafern, das Aluminium aufweist,
- dadurch gekennzeichnet, daß
- der Anteil von Aluminium mehr als 90 Gew.-%, vorzugsweise mehr als 95 Gew.-% beträgt, und
- Kupfer in einem Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-%, vorzugsweise unter 1 Gew.-%, und/oder Silicium in einem Anteil zwischen 0,5 und 2 Gew.-% und/oder Titan in einem Anteil zwischen 0,2 Gew.-% und 3 Gew.-%, vorzugsweise unter 1,5 Gew.-% beigemischt ist.
23. Wafer mit einer Maskierungsschicht mit einem Maskenmaterial nach Anspruch 22.

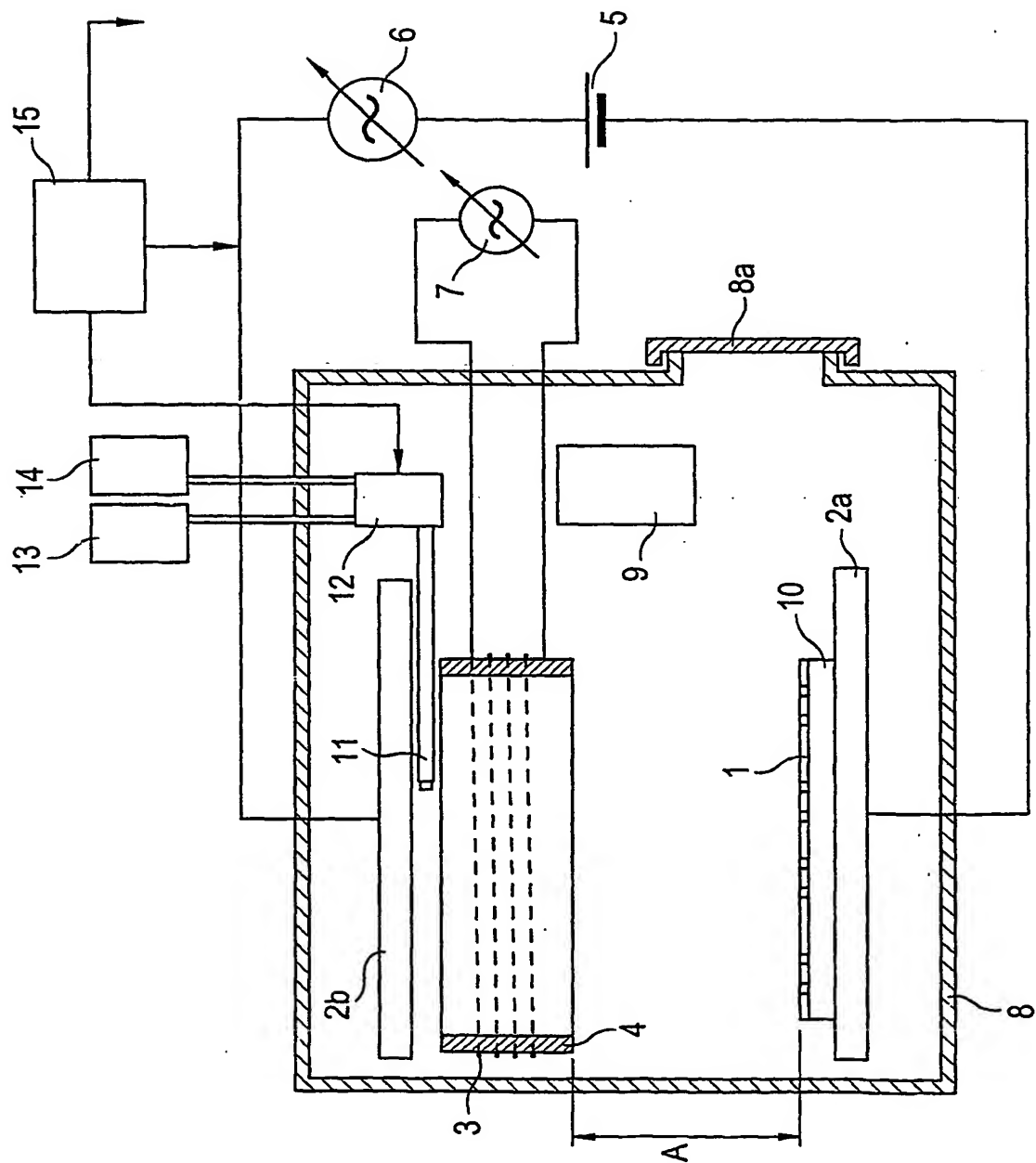


FIG. 1

2/3

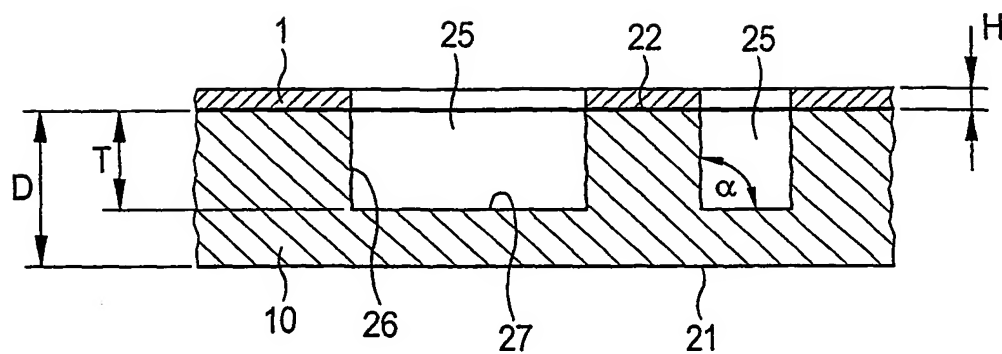


FIG. 2

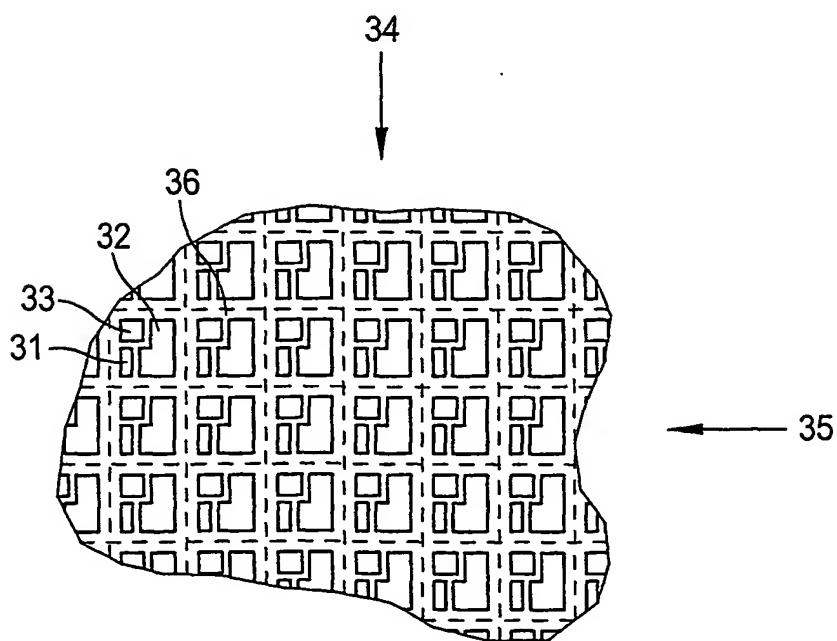


FIG. 3

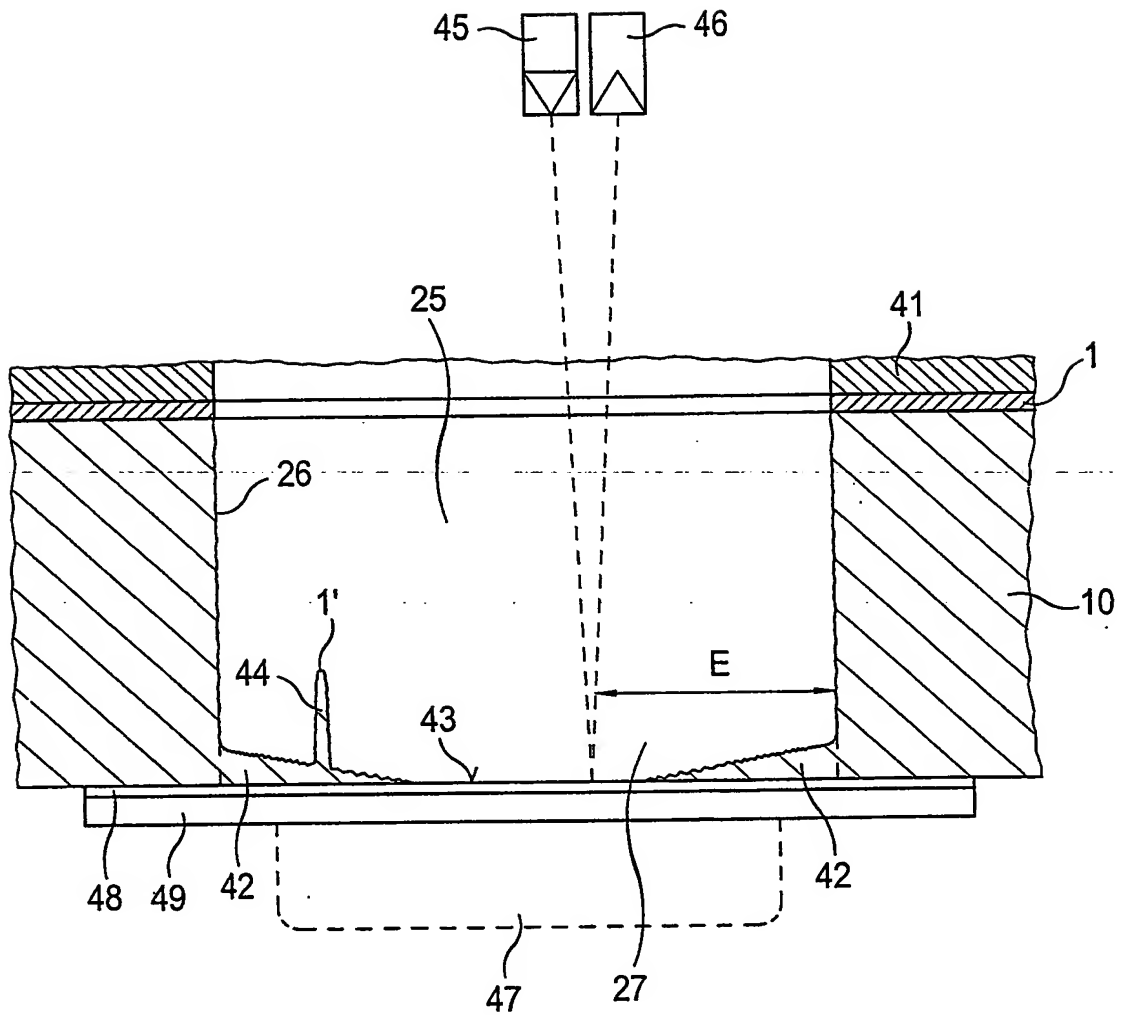


FIG. 4

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Februar 2004 (26.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/017361 A3(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01L 21/308,
21/3065

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/009052

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. August 2003 (14.08.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 37 249.7 14. August 2002 (14.08.2002) DECU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,
RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US*): PERKINELMER - OPTOELECTRONICS
GMBH & CO. KG [DE/DE]; Wenzel-Jackson-Str. 31,
65199 Wiesbaden (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): HAUSNER, Martin
[DE/DE]; Soodderstr. 63, 65193 Wiesbaden (DE).(74) Anwälte: SIEGFRIED, J. usw.; Beetz & Partner, Steins-
dorfstrasse 10, 80538 München (DE).(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen
Recherchenberichts: 15. Juli 2004Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.(54) Title: METHOD FOR SELECTIVELY REMOVING MATERIAL FROM THE SURFACE OF A SUBSTRATE, MASKING
MATERIAL FOR A WAFER AND WAFER PROVIDED WITH A MASKING MATERIAL(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM SELEKTIVEN ABTRAGEN VON MATERIAL AUS DER OBERFLÄCHE EINES SUB-
STRATS, MASKIERUNGSMATERIAL FÜR EINEN WAFER UND WAFER MIT EINEM MASKIERUNGSMATERIAL(57) Abstract: The invention relates to a method for selectively removing material from the surface of a substrate in order to form
a recess, comprising the following steps: applying a mask to the surface of the substrate in accordance with the desired selective
removal, and; dry etching the substrate, whereby metal, preferably aluminum, is used as a masking material. Energy can be induc-
tively injected into a plasma.(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum selektiven Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Substrats zur Bildung einer
Vertiefung hat die Schritte Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats nach Massgabe des gewünschten selektiven
Abtrags, und Trockenätzen des Substrats, wobei ein Metall, vorzugsweise Aluminium als Maskenmaterial verwendet wird. Es kann
induktiv Energie in ein Plasma eingekoppelt werden.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/09052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H01L21/308 H01L21/3065

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>TIAN W C ET AL.: "Comparison of Cl/sub 2/ and F-based dry etching for high aspect ratio Si microstructures etched with an inductively coupled plasma source" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY B, vol. 18, no. 4, July 2000 (2000-07), pages 1890-1896, XP002268231 the whole document</p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	1-10,20

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 February 2004

Date of mailing of the international search report

18. 05. 2004

Name and mailing address of the ISA
 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Szarowski, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/09052

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>RAKSHANDEHROO M R ET AL: "DRY ETCHING OF SI FIELD EMITTERS AND HIGH ASPECT RATIO RESONATORS USING AN INDUCTIVELY COUPLED PLASMA SOURCE"</p> <p>JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART B, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US,</p> <p>vol. 16, no. 3, May 1998 (1998-05), pages 2849-2854, XP000801983</p> <p>ISSN: 0734-211X</p> <p>abstract; figures 2,3</p> <p>page 2853 - page 2854</p>	<p>1-3, 5-10,20</p>
X	<p>WEIGOLD J W ET AL: "DESIGN AND FABRICATION OF SUBMICROMETER, SINGLE CRYSTAL SI ACCELEROMETER"</p> <p>JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE INC. NEW YORK, US,</p> <p>vol. 10, no. 4, December 2001 (2001-12), pages 518-524, XP001124526</p> <p>ISSN: 1057-7157</p> <p>page 519</p>	<p>1-3, 5-10,20</p>
X	<p>PERRY A J ET AL: "FAST ANISOTROPIC ETCHING OF SILICON IN AN INDUCTIVELY COUPLED PLASMA REACTOR"</p> <p>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US,</p> <p>vol. 55, no. 2, 10 July 1989 (1989-07-10), pages 148-150, XP000046563</p> <p>ISSN: 0003-6951</p> <p>the whole document</p>	<p>1-3, 5-11,20</p>
X	<p>TANAKA S ET AL.: "Deep reactive ion etching of silicon carbide"</p> <p>JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY B (MICROELECTRONICS AND NANOMETER STRUCTURES),</p> <p>vol. 19, no. 6, November 2001 (2001-11), pages 2173-2176, XP002268232</p> <p>the whole document</p>	<p>1-3,5,6, 8-10,20</p>
X	<p>KONG S M ET AL: "Reactive ion etching of siC using CF6/O2 inductively coupled plasma"</p> <p>JOURNAL OF ELECTRONIC MATERIALS,</p> <p>vol. 31, no. 3, March 2002 (2002-03), pages 209-213, XP008026988</p> <p>page 210</p>	<p>1-3, 5-10,20</p>

-/--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/09052

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>XIAO Z ET AL: "Silicon micro-accelerometer with mg resolution, high linearity and large frequency bandwidth fabricated with two mask bulk process"</p> <p>SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 77, no. 2, 12 October 1999 (1999-10-12), pages 113-119, XP004244553 ISSN: 0924-4247 page 114, right-hand column</p>	1,5-7,9,11
A	<p>AYON A A ET AL: "Anisotropic silicon trenches 300-500 mum deep employing time multiplexed deep etching (TMDE)"</p> <p>SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 91, no. 3, 15 July 2001 (2001-07-15), pages 381-385, XP004255492 ISSN: 0924-4247 the whole document</p>	1,4,5
A	<p>WO 01/47005 A (APPLIED MATERIALS INC) 28 June 2001 (2001-06-28) example 1</p>	1,5,7,11
A	<p>DIJKSTRA P ET AL: "CAN SEA (SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSESSMENT) ALSO DELIVER FOR MEMS?"</p> <p>HOROLOGICAL JOURNAL, HOROLOGICAL JOURNAL. ASHFORD, GB, vol. 56, no. 302, 2001, pages 684-690, XP008026203 ISSN: 0018-5108 page 686</p>	1-11,20
A	<p>WO 01/06539 A (BOSCH GMBH ROBERT ;BECKER VOLKER (DE); LAERMER FRANZ (DE); SCHILP) 25 January 2001 (2001-01-25) page 10 - page 11</p>	1-11,20
A	<p>DATABASE WPI Section Ch, Week 200278 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L03, AN 2002-720751 XP002268672 & KR 2002 041 363 A (J00 Y) 1 June 2002 (2002-06-01) abstract</p>	1-11,20
E	<p>-& US 2003/162402 A1 (J00 Y) 28 August 2003 (2003-08-28) page 3</p>	1-11,20

-/--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/09052

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	US 6 458 615 B1 (FEDDER GARY K ET AL) 1 October 2002 (2002-10-01) column 5; figure 3 -----	1-11,20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP03/9052

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: **1-11, 20**

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Box II

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-11 and 20

Method for removing material from the surface of a silicon-bearing substrate in order to form a recess, comprising the steps of

- applying a mask to the surface of the substrate,
- dry-etching the substrate, and
- inductive coupling of energy into the etching medium during dry etching,

characterised in that

- a metal is used to form the mask, and
- the substrate is kept at a distance of at least twice the mean free path of the plasma atoms or at least 8 cm from the inductive coupler, and
- etching steps and passivation steps are carried out in alternation on the lateral walls of the recess.

2. Claims 12-16

Method for removing material from the surface of a silicon-bearing substrate in order to form a recess, comprising the steps of

- applying a mask to the surface of the substrate,
- dry-etching the substrate, and
- inductive coupling of energy into the etching medium during dry etching,

characterised in that

- a metal is used to form the mask, and
- the substrate is kept at a distance of at least twice the mean free path of the plasma atoms or at least 8 cm from the inductive coupler, and
- the etching position in the depth direction is determined repeatedly, and when a certain position is reached the etching is stopped or a switch is made to a second etching process which is qualitatively different or uses different operating parameters in comparison with the previous etching process.

3. Claims 17-19

Method for removing material from the surface of a silicon-bearing substrate in order to form a recess, comprising the steps of

- applying a mask to the surface of the substrate,
- dry-etching the substrate, and
- inductive coupling of energy into the etching medium during dry etching,

characterised in that

- a metal is used to form the mask, and
- the substrate is kept at a distance of at least twice the mean free path of the plasma atoms or at least 8 cm from the inductive coupler, and
- before the mask is removed an ashing step is carried out for polymer residue on the mask.

4. Claims 21-23

Use of aluminium or an aluminium alloy or a composite material as the masking material for substrates which are to be deep-dry-etched with inductively coupled plasma.

Material containing aluminium.

Wafer with a masking layer containing such a material.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/09052

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0147005	A	28-06-2001	US 6491835 B1 EP 1240665 A1 JP 2003518738 T WO 0147005 A1	10-12-2002 18-09-2002 10-06-2003 28-06-2001
WO 0106539	A	25-01-2001	DE 19933842 A1 WO 0106539 A1 EP 1112587 A1 JP 2003505868 T	01-02-2001 25-01-2001 04-07-2001 12-02-2003
KR 2002041363	A	01-06-2002	US 2003162402 A1 JP 2003251598 A	28-08-2003 09-09-2003
US 2003162402	A1	28-08-2003	KR 2002041363 A JP 2003251598 A	01-06-2002 09-09-2003
US 6458615	B1	01-10-2002	NONE	

INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/09052

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01L21/308 H01L21/3065

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	TIAN W C ET AL.: "Comparison of Cl/sub 2/ and F-based dry etching for high aspect ratio Si microstructures etched with an inductively coupled plasma source" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY B, Bd. 18, Nr. 4, Juli 2000 (2000-07), Seiten 1890-1896, XP002268231 das ganze Dokument ----- -/--	1-10,20

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Februar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

18.05.2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Szarowski, A

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>RAKSHANDEHROO M R ET AL: "DRY ETCHING OF SI FIELD EMITTERS AND HIGH ASPECT RATIO RESONATORS USING AN INDUCTIVELY COUPLED PLASMA SOURCE"</p> <p>JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART B, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US,</p> <p>Bd. 16, Nr. 3, Mai 1998 (1998-05), Seiten 2849-2854, XP000801983</p> <p>ISSN: 0734-211X</p> <p>Zusammenfassung; Abbildungen 2,3</p> <p>Seite 2853 - Seite 2854</p>	1-3, 5-10,20
X	<p>WEIGOLD J W ET AL: "DESIGN AND FABRICATION OF SUBMICROMETER, SINGLE CRYSTAL SI ACCELEROMETER"</p> <p>JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE INC. NEW YORK, US,</p> <p>Bd. 10, Nr. 4, Dezember 2001 (2001-12), Seiten 518-524, XP001124526</p> <p>ISSN: 1057-7157</p> <p>Seite 519</p>	1-3, 5-10,20
X	<p>PERRY A J ET AL: "FAST ANISOTROPIC ETCHING OF SILICON IN AN INDUCTIVELY COUPLED PLASMA REACTOR"</p> <p>APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US,</p> <p>Bd. 55, Nr. 2, 10. Juli 1989 (1989-07-10), Seiten 148-150, XP000046563</p> <p>ISSN: 0003-6951</p> <p>das ganze Dokument</p>	1-3, 5-11,20
X	<p>TANAKA S ET AL.: "Deep reactive ion etching of silicon carbide"</p> <p>JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY B (MICROELECTRONICS AND NANOMETER STRUCTURES),</p> <p>Bd. 19, Nr. 6, November 2001 (2001-11), Seiten 2173-2176, XP002268232</p> <p>das ganze Dokument</p>	1-3,5,6, 8-10,20
X	<p>KONG S M ET AL: "Reactive ion etching of siC using CF6/O2 inductively coupled plasma"</p> <p>JOURNAL OF ELECTRONIC MATERIALS,</p> <p>Bd. 31, Nr. 3, März 2002 (2002-03), Seiten 209-213, XP008026988</p> <p>Seite 210</p>	1-3, 5-10,20

-/-

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
A	XIAO Z ET AL: "Silicon micro-accelerometer with mg resolution, high linearity and large frequency bandwidth fabricated with two mask bulk process" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, Bd. 77, Nr. 2, 12. Oktober 1999 (1999-10-12), Seiten 113-119, XP004244553 ISSN: 0924-4247 Seite 114, rechte Spalte	1,5-7,9, 11
A	AYON A A ET AL: "Anisotropic silicon trenches 300-500 mum deep employing time multiplexed deep etching (TMDE)" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, Bd. 91, Nr. 3, 15. Juli 2001 (2001-07-15), Seiten 381-385, XP004255492 ISSN: 0924-4247 das ganze Dokument	1,4,5
A	WO 01/47005 A (APPLIED MATERIALS INC) 28. Juni 2001 (2001-06-28) Beispiel 1	1,5,7,11
A	DIJKSTRA P ET AL: "CAN SEA (SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSESSMENT) ALSO DELIVER FOR MEMS?" HOROLOGICAL JOURNAL, HOROLOGICAL JOURNAL. ASHFORD, GB, Bd. 56, Nr. 302, 2001, Seiten 684-690, XP008026203 ISSN: 0018-5108 Seite 686	1-11,20
A	WO 01/06539 A (BOSCH GMBH ROBERT ;BECKER VOLKER (DE); LAERMER FRANZ (DE); SCHILP) 25. Januar 2001 (2001-01-25) Seite 10 - Seite 11	1-11,20
A	DATABASE WPI Section Ch, Week 200278 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L03, AN 2002-720751 XP002268672 & KR 2002 041 363 A (J00 Y) 1. Juni 2002 (2002-06-01) Zusammenfassung	1-11,20
E	-& US 2003/162402 A1 (J00 Y) 28. August 2003 (2003-08-28) Seite 3	1-11,20

-/-

INTERNATIONALER FORSCHUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/09052

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P,A	US 6 458 615 B1 (FEDDER GARY K ET AL) 1. Oktober 2002 (2002-10-01) Spalte 5; Abbildung 3 -----	1-11,20

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 03/09052

Feld I Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld II Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser Internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser Internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☒ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:
1-11, 20

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
- ☐ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-11, 20

Verfahren zum Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Silizium aufweisenden Substrats zur Bildung einer Vertiefung, mit den Schritten

- Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats,
- Trockenätzen des Substrats, und
- induktives Einkoppeln von Energie in das Ätzmedium beim Trockenätzen,

dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Metall zur Bildung der Maske verwendet wird, und
- das Substrat um mindestens die doppelte mittlere freie Weglänge der Plasmaatome oder um mindestens 8 cm von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird,
- abwechselnd Ätzschritte und Passivierungsschritte für die Seitenwände der Vertiefung stattfinden.

2. Ansprüche: 12-16

Verfahren zum Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Silizium aufweisenden Substrats zur Bildung einer Vertiefung, mit den Schritten

- Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats,
- Trockenätzen des Substrats, und
- induktives Einkoppeln von Energie in das Ätzmedium beim Trockenätzen,

dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Metall zur Bildung der Maske verwendet wird, und
- das Substrat um mindestens die doppelte mittlere freie Weglänge der Plasmaatome oder um mindestens 8 cm von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird,
- die Ätzposition in Tiefenrichtung wiederholt bestimmt wird, wobei bei Erreichung einer bestimmten Position das Ätzen beendet oder auf einen zweiten Ätzprozess umgeschaltet wird, der qualitativ anders oder mit anderen Betriebsparametern als der vorherige Ätzprozess abläuft.

3. Ansprüche: 17-19

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Verfahren zum Abtragen von Material aus der Oberfläche eines Silizium aufweisenden Substrats zur Bildung einer Vertiefung, mit den Schritten

- Aufbringen einer Maske auf der Oberfläche des Substrats,
- Trockenätzen des Substrats, und
- induktives Einkoppeln von Energie in das Ätzmedium beim Trockenätzen,

dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Metall zur Bildung der Maske verwendet wird, und
- das Substrat um mindestens die doppelte mittlere freie Weglänge der Plasmaatome oder um mindestens 8 cm von der induktiven Einkopplung entfernt gehalten wird,
- vor dem Entfernen der Maske ein Veraschungsschritt für Polymerreste auf der Maske vorgesehen ist.

4. Ansprüche: 21-23

Verwendung von Aluminium oder einer Aluminiumlegierung oder eines Kompositmaterials als Maskierungsmaterial für Substrate, die mit induktiv energiegekoppeltem Plasma trocken tiefzuätzen sind.

Material, das Aluminium aufweist.

Wafer mit einer Maskierungsschicht mit einem solchen Material.

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/09052

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0147005 A	28-06-2001	US 6491835 B1 EP 1240665 A1 JP 2003518738 T WO 0147005 A1	10-12-2002 18-09-2002 10-06-2003 28-06-2001
WO 0106539 A	25-01-2001	DE 19933842 A1 WO 0106539 A1 EP 1112587 A1 JP 2003505868 T	01-02-2001 25-01-2001 04-07-2001 12-02-2003
KR 2002041363 A	01-06-2002	US 2003162402 A1 JP 2003251598 A	28-08-2003 09-09-2003
US 2003162402 A1	28-08-2003	KR 2002041363 A JP 2003251598 A	01-06-2002 09-09-2003
US 6458615 B1	01-10-2002	KEINE	